

# Analisa Peletakan Multi Horisontal Turbin Secara Bertingkat

Agus Suhartoko, Tony Bambang Musriyadi, Irfan Syarif Arief  
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: a.suhartoko@gmail.com

**Abstrak**—Pemasangan turbin sebagai pembangkit tenaga listrik memiliki beberapa kendala diantaranya peletakan tempat peletakan turbin yang strategis agar lebih mudah dalam pembangunan dan perawatan. Dalam penelitian ini akan dicari berapakah jarak optimal pemasangan array turbin agar menghasilkan daya yang optimal, sehingga akan dilakukan dua jenis simulasi. Pada simulasi pertama turbin yang dipasang secara bertingkat dengan poros kedua turbin lurus dan simulasi kedua selain disimpangkan kebelakang poros turbin kedua disimpangkan kesamping kemudian dianalisa pada kondisi manakah turbin kedua menghasilkan daya yang optimal. Variabel pada penelitian dibedakan menjadi variabel kontrol meliputi diameter turbin dan kecepatan arus, variabel manipulasi meliputi jarak peletakan turbin. Pada simulasi pertama turbin akan disimpangkan sejauh 5D; 6D; 7D; 8D; 9D; dan 10D, serta pada simulasi kedua ditambah dengan simpangan kesamping 0D; D; 0,5D; dan D. Hasil yang didapat adalah perbandingan daya optimal dengan jarak minimal berada pada jarak 6D pada dan 05L pada model 11V dengan perbandingan daya 1.042, pada model 14V pada jarak 6D 05L dengan perbandingan daya 1.034, dan pada model 18V pada 6D 05L dengan perbandingan daya 1.007.

**Kata Kunci**—Array turbine, jarak downstream, jarak lateral,  $C_p$ .

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik saat ini merupakan suatu kebutuhan vital yang mungkin hampir menjadi salah satu kebutuhan dasar manusia. Perkembangan penduduk dan peningkatan taraf hidup menjadikan kebutuhan akan listrik meningkat seiring waktu. Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia tumbuh rata-rata sebesar 8,4% per tahun. Hal ini untuk mendukung pertumbuhan ekonomi nasional yang rata-rata 6% per tahun[1].

Peningkatan kebutuhan tersebut tentu menjadi suatu permasalahan seiring dengan permasalahan keterbatasan pengelolaan sumber energi di Indonesia. Energi fosil cenderung menjadi pilihan utama di Indonesia walau jenis energi ini jumlahnya terbatas dan cenderung menghasilkan polusi bagi lingkungan. Sudah seharusnya kita beralih untuk menggunakan sumber energi lain yang lebih ramah lingkungan serta cadangannya masih melimpah atau dapat diperbaharui misal seperti angin, sel surya, energi laut, dan gas bumi.

Tidak dipungkiri bahwa kekayaan Indonesia memang belum sepenuhnya dimanfaatkan, terutama pada bidang maritim yang masih jarang diminati. Keadaan ini tentunya juga tak terlepas dari kurangnya pemahaman mengenai “Negara Kelautan” serta keterbatasan teknologi yang dibutuhkan. Selain hal tersebut besarnya biaya investasi juga menjadi penyebab kurangnya pemanfaatan kekayaan laut. Dari penyebab tersebut akhirnya potensi kelautan Indonesia menjadi terlihat tidak menarik dan diabaikan. Potensi energi terbarukan yang ada di laut seperti arus laut, gelombang, dan angin pun akhirnya tak termamfaatkan secara optimal, padahal jika dibandingkan, energi alternatif tersebut lebih ramah lingkungan dan jumlahnya yang melimpah. Salah satu upaya untuk memanfaatkan energi laut adalah dengan memasang turbin arus laut untuk mengkonversi energi dari arus menjadi energi gerak rotasi pada shaft turbin yang kemudian dikonversi oleh generator menjadi energi listrik.

Pemasangan turbin ini tentu akan memerlukan biaya yang besar baik untuk biaya awal maupun biaya perawatan. Besarnya nilai investasi juga menyebabkan pengaruh pada kekhawatiran akan keamanan turbin dari sekitar sehingga perlu juga untuk pengawasan pada turbin untuk menjaga kinerja serta keamanan dari turbin atau lingkungan. Dari hal tersebut tentu akan lebih mudah jika turbin diletakkan secara bersama atau disebut *array turbine*.

Pemasalahan lain yang timbul ketika dilakukan pembangunan *array turbine* adalah penurunan kecepatan aliran air setelah melewati turbin akibat energi dalam aliran tersebut dikonversi oleh turbin. Jika turbin kedua dipasang dibelakang turbin pertama tentu dalam jarak tertentu, turbin kedua akan menghasilkan daya kurang dari yang diharapkan sebelumnya. Penentuan jarak optimal yakni jarak minimal dimana turbin kedua dapat diletakkan di belakang turbin pertama dan menghasilkan daya sesuai perencanaan perlu dilakukan untuk membuat suatu desain *array turbine* yang optimal.

## II. DASAR TEORI

### A. Energi Laut

Sejauh ini yang umum dilakukan dalam pemanfaatan potensi kelautan adalah pemanfaatan biota laut, keindahan laut sebagai wahana wisata, atau pemanfaatan dalam bidang energi adalah penambangan minyak lepas pantai. Potensi kelautan yang lain seperti energi alternatif masih kurang diminati. Energi alternatif di laut lebih ramah lingkungan dan jumlahnya yang melimpah karena

termasuk energi terbarukan. Jenis jenis energi laut yang dapat dimanfaatkan adalah:

### 1. Energi Gelombang

Energi gelombang atau ombak merupakan energi kinetik yang memanfaatkan beda tinggi gelombang laut. Gelombang timbul akibat angin yang bertiup di permukaan laut. Kendala pada pemanfaatan energi gelombang adalah susahnya menemukan lokasi dengan gelombang yang kuat dan konsisten

### 2. Energi pasang surut

Terjadi akibat perbedaan ketinggian air saat pasang dan surut. Energi ini lebih bisa diandalkan daripada energi ombak. Kendala yang dihadapi hampir sama yakni pemilihan tempat yang sesuai. Pemanfaatan energi pasang surut menjadi dua macam yakni dam pasang surut (*tidal barrages*) dan turbin lepas pantai (*offshore turbines*).

### 3. Energi panas laut

Energi panas laut atau *Ocean Thermal Energy Conversion* adalah pemanfaatan energi laut yang berupa panas. Temperatur pada laut akan berbeda dimana di permukaan akan lebih panas dibandingkan dengan di kedalaman laut. Panas dari matahari akan diserap di permukaan laut sedangkan semakin dalam maka temperatur akan semakin rendah.

### B. Tipe Perlengkapan

Energi pada arus laut dapat dimanfaatkan dengan cara dikonversi menjadi energi mekanik yang kemudian digunakan untuk memutar generator. Secara umum ada beberapa tipe alat yang dapat digunakan sebagai penangkap energi arus laut untuk menghasilkan putaran poros.

#### 1. Turbin arus laut sumbu horizontal

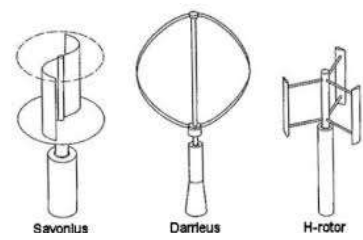
Bentuk Turbin Sumbu Horizontal atau *Axial Flow Turbine* mirip dengan bentuk dari propeller. Propeller akan berputar dan kemudian akan menghasilkan arus perpindahan air sedangkan pada turbin arus akan menabrak daun turbin dan menyebabkan perputaran pada rotor



Gambar 1 Turbin sumbu horizontal[5].

#### 2. Turbin arus laut sumbu vertikal

Turbin sumbu vertikal atau *Vertical Axis Turbine (VAT)* atau disebut juga *Cross Flow Turbine* memiliki sumbu tegak lurus terhadap aliran arus. Klasifikasi VAT secara umum dibagi menjadi tiga yakni turbin tipe *Savonius*, *Darrieus*, *H-Rotor*. Perbedaan ketiga tipe turbin tersebut terletak pada bentuk blade turbin.



Gambar 2 Turbin sumbu vertikal[5].

#### 3. *Oscillating hydrofoil*

*Oscillating Hydrofoil* adalah sebuah hidrofoil yang melekat ke lengan yang berosilasi. Arus pasang surut air laut yang mengalir pada kedua sisi sayap akan menghasilkan gaya angkat, ketika hidrofoil telah mencapai titik maksimal, akan timbul gaya yang menyebabkan lengan bergerak ke arah yang sebaliknya.

#### 4. *Venturi*

Perangkat *Venturi* adalah sebuah perangkat dalam saluran yang mengonsentrasikan aliran pasang surut melewati turbin. Aliran air dapat menggerakkan turbin secara langsung akibat perbedaan tekanan yang disebabkan dalam sistem tersebut sehingga dapat menggerakkan turbin.

#### 5. *Archimedes screw*

Archimedes Screw adalah sebuah alat berbentuk perangkat heliks (permukaan heliks mengelilingi sebuah poros silinder pusat). Perangkat ini dapat menarik daya dari aliran pasang surut air laut yang bergerak naik melalui spiral yang kemudian memutar turbin.

### C. *Blade Element Momentum*

*Blade Element Momentum (BEM)* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menguji operasi turbin. Metode ini merupakan gabungan dari dua metode dengan metode pertama berguna untuk keseimbangan momentum pada arus yang melewati turbin, lalu metode kedua berguna untuk menguji gaya yang dihasilkan oleh *lift* pada aerofoil dan *drag coefisien* di sepanjang daun turbin.

Untuk perhitungan lebih rinci dan torsi serta putaran dari turbin telah diketahui maka perhitungan daya dapat menggunakan persamaan (1)[2].

$$P = 2\pi NT \quad (1)$$

Untuk menghitung efisiensi turbin atau yang disebut juga koefisien daya ( $C_p$ ) adalah dengan membandingkan daya air dengan daya yang dihasilkan oleh turbin. Daya air didapat dari laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) yang merupakan perkalian massa jenis ( $\rho$ ) dengan debit ( $Q$ ). lalu dikalikan dengan kecepatan ( $U$ )[3].

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad (2)$$

$$P_{air} = \frac{1}{2} \dot{m} U^2 \quad (3)$$

$$C_p = P_T / P_{air} \quad (4)$$

### III. METODOLOGI

Tujuan dari analisa yang dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui jarak optimal pada pemasangan multi turbin bertingkat dengan poros turbin kedua lurus di belakang turbin pertama dan mengetahui jarak optimal pada pemasangan multi turbin bertingkat dengan poros turbin kedua tidak lurus di belakang turbin pertama

Terdapat dua permasalahan yang menjadi bahan analisa dalam penelitian ini. Yang pertama adalah berapakah jarak optimal agar turbin dapat bekerja jika dipasang secara bertingkat tepat di belakang turbin yang lain. Dan yang kedua berapakah jarak optimal agar turbin dapat bekerja jika dipasang secara bertingkat dan disimpangkan secara *lateral* terhadap turbin lain.

Untuk mencapai tujuan tersebut ditetapkan lingkup yang digunakan meliputi turbin yang digunakan adalah jenis horizontal axis. Penelitian hanya difokuskan untuk melihat jarak optimal pemasangan turbin dengan mempertimbangkan torsi yang dihasilkan oleh turbin kedua. Pada percobaan dengan poros kedua turbin lurus, turbin kedua akan dimundurkan dengan jarak 5 hingga 10 diameter (D) dengan variasi 5D; 6D; 7D; 8D; 9D; dan 10D. Pada percobaan kedua, turbin kedua selain dimundurkan juga disimpangkan kesamping dengan variasi 0,5 D dan D. Variasi kecepatan arus ditetapkan dengan nilai 1.061 m/s, 1.414 m/s, dan 1.768 m/s.

#### IV. PENGAMBARAN MODEL

##### A. Variasi

Dalam percobaan akan dilakukan beberapa variasi yang meliputi variasi kecepatan arus, variasi simpangan arah lurus kebelakang (*downstream*), serta menyamping (*lateral*). Sehingga akan diperlukan penamaan untuk memudahkan mengidentifikasi klasifikasi pada model. Penamaan yang direncanakan adalah sebagai berikut:

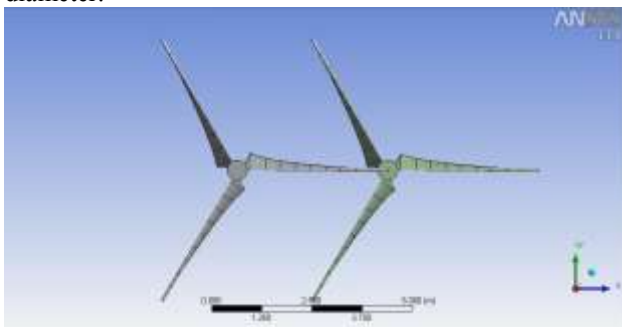
\_\_V\_\_L\_\_D

\_\_V Nilai kecepatan arus (04, 11, dan 18)

\_\_L Nilai simpangan *lateral* (simpangan samping) (00, 05, dan 10)

\_\_D Nilai simpangan *downstream* (kebelakang).

Pada penamaan dengan nama 11V 00L 05D menyatakan bahwa multi turbin akan disimulasikan dengan variasi kecepatan arus sebesar 1,061 m/s, jarak *lateral* 0D (poros turbin kedua tepat dibelakang turbin pertama), dan simpangan *downstream* sejauh 5 D, dan. Nilai pada kode L adalah bilangan desimal dengan nilai 00: 0.5: dan 1,0. Dan 05 D adalah menyatakan bahwa turbin kedua disimpangkan dengan jarak *downstream* 5 diameter.



Gambar 3 Geometri turbin.

##### B. Penggambaran model

Penggambaran model mengacu pada data yang didapat dari program HARP\_OPT[4]. Dengan memasukkan data turbin meliputi *power*, jumlah blade, diameter, kecepatan arus, dan rpm. Setelah itu akan

didapat grafik plot dari data yang telah diolah oleh program tersebut. Data tersebut akan diambil nilai sudut foil, panjang, serta tebal foil.

#### V. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil perhitungan variasi 11V 00L.

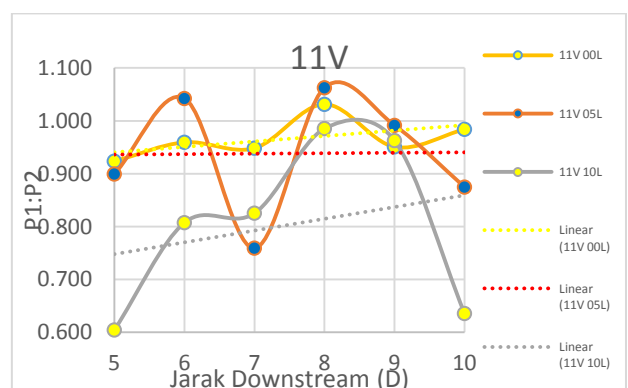
D	P1(W)	Cp1	P2(W)	Cp2	P <sub>1</sub> :P <sub>2</sub>
5	6589.706	0.244	5711.125	0.211	0.867
6	6714.041	0.249	6214.768	0.230	0.926
7	6225.340	0.231	5703.074	0.211	0.916
8	6002.802	0.222	6366.963	0.236	1.061
9	6103.132	0.226	5457.617	0.202	0.894
10	6124.512	0.227	5885.595	0.218	0.961

Tabel 2 Hasil perhitungan variasi 11V 05L.

D	P1(W)	Cp1	P2(W)	Cp2	P <sub>1</sub> :P <sub>2</sub>
5	6754.777	0.250	6074.758	0.225	0.899
6	5794.005	0.215	6038.582	0.224	1.042
7	6158.649	0.228	4675.054	0.173	0.759
8	5664.318	0.210	6018.331	0.223	1.062
9	5932.578	0.220	5881.210	0.218	0.991
10	7221.042	0.267	6315.684	0.234	0.875

Tabel 3. Hasil perhitungan variasi 11V 10L.

D	P1(W)	Cp1	P2(W)	Cp2	P <sub>1</sub> :P <sub>2</sub>
5	7065.884	0.262	843.047	0.031	0.119
6	5677.691	0.210	4583.772	0.170	0.807
7	6469.155	0.240	5338.870	0.198	0.825
8	6032.453	0.223	5944.646	0.220	0.985
9	7132.868	0.264	6866.794	0.254	0.963
10	6841.015	0.253	4347.201	0.161	0.635

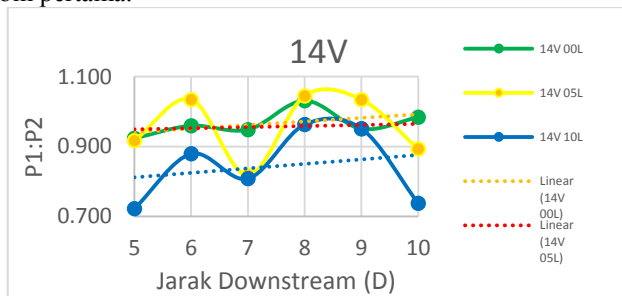


Grafik 1. Perbandingan daya dengan jarak *downstream*. 1,061 m/s

Pada Grafik 1 yang membandingkan jarak *downstream* dengan perbandingan daya pada kecepatan arus sebesar 1.061 m/s dapat dilihat bahwa perbandingan daya kedua turbin semakin meningkat seiring bertambahnya jarak

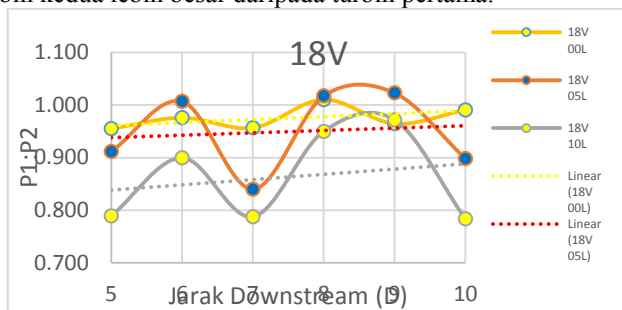
*downstream*. Namun pada semua variasi *lateral* perbandingan daya tidak konstan meningkat namun juga terjadi penurunan dengan penambahan jarak *downstream*. Pada garis kecenderungan pada variasi *lateral* yang semakin kecil akan lebih tinggi nilai perbandingan daya yang didapat.

Nilai optimal atau perbandingan antara kedua turbin yang bernilai satu atau mendekati adalah pada variasi *lateral* sebesar 0.5 diameter dan jarak *downstream* sebesar 6 diameter dengan nilai perbandingan daya 1.042. Nilai daya turbin kedua yang lebih besar dapat disebabkan oleh besar tekanan pada turbin kedua lebih besar daripada turbin pertama.

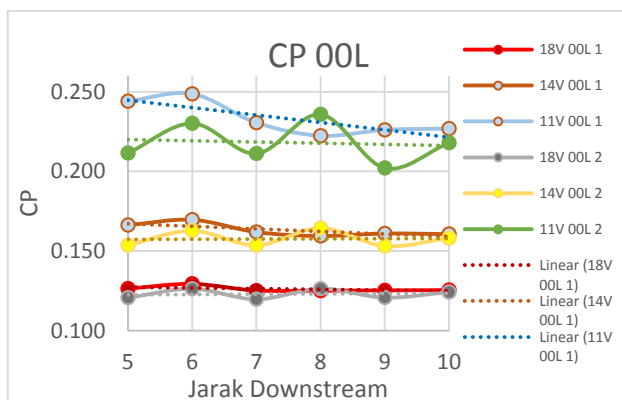


Grafik 2. Perbandingan daya dengan jarak *downstream*.1,414 m/s

Nilai optimal pemasangan yang didapat sama dengan pada percobaan dengan variasi kecepatan arus 1.061 m/s yakni pada variasi *lateral* sebesar 0.5 diameter dan jarak *downstream* sebesar 6 diameter dengan nilai perbandingan daya 1.034. Nilai daya turbin kedua yang lebih besar dapat disebabkan oleh besar tekanan pada turbin kedua lebih besar daripada turbin pertama.

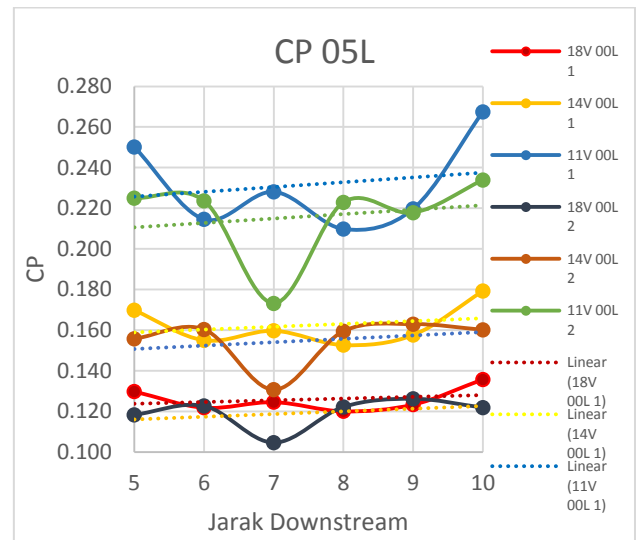


Grafik 3. Perbandingan daya dengan jarak *downstream*.1,768 m/s

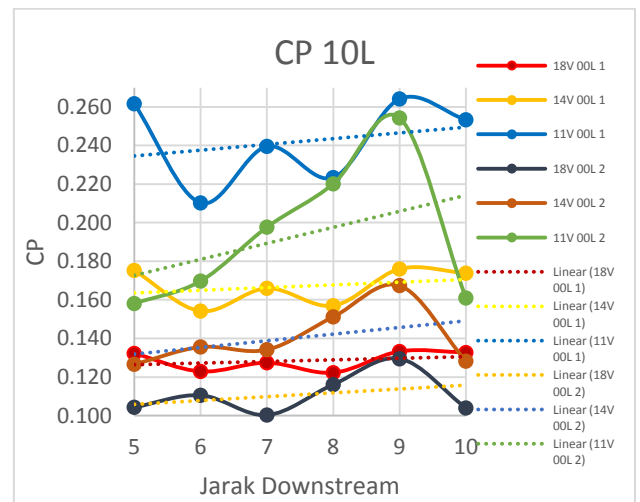


Grafik 4. Koefisien daya dengan jarak *downstream*.pada 00L

Nilai optimal jarak *downstream* yang didapat sama dengan pada kecepatan arus sebelumnya yakni pada variasi *lateral* 0.5 diameter dan jarak *downstream* 6 diameter dengan nilai perbandingan daya sebesar 1.007. Sepertihalnya pada variasi arus seblunya, besar nilai perbandingan yang melebihi 1 disebabkan oleh tekanan pada turbin kedua yang lebih besar disbanding turbin pertama.



Grafik 5. Koefisien daya dengan jarak *downstream*.pada 05L



Grafik 6. Koefisien daya dengan jarak *downstream*.pada 10L

Dapat dilihat pada Grafik 4, Grafik 5, dan Grafik 6, kenaikan nilai arus cenderung berakibat pada penurunan nilai  $C_p$ . hal ini sesuai dengan dasar teori bahwa ketika melebihi titik optimum, nilai  $C_p$  akan semakin turun jika kecepatan arus bertambah pada kondisi putaran konstan. Dari pembahasan grafik perlu diperhatikan untuk mendesain putaran sehingga akan memiliki nilai efisiensi turbin yang paling optimal.

## VI. KESIMPULAN

1. Jarak *downstream* minimal untuk menghasilkan perbandingan daya optimal pada kecepatan arus 1.061 m/s adalah pada 6 diameter dengan jarak

- lateral* 0.5 diameter, dengan besar perbandingan daya turbin adalah 1.042.
2. Jarak *downstream* minimal untuk menghasilkan perbandingan daya optimal pada kecepatan arus 1.414 m/s adalah pada 6 diameter dengan jarak *lateral* 0.5 diameter, dengan besar perbandingan daya turbin adalah 1.034.
  3. Jarak *downstream* minimal untuk menghasilkan perbandingan daya optimal pada kecepatan arus 1.678 m/s adalah pada 6 diameter dengan jarak *lateral* 0.5 diameter, dengan besar perbandingan daya turbin adalah 1.007.
  4. Pada variasi jarak *lateral* 1.0 diameter, tidak muncul perbandingan daya yang nilainya sama dengan atau lebih dari 1, nilai perbandingan daya terbesar terjadi pada jarak *downstream* 8 diameter dan kecepatan arus sebesar 1.061 dengan nilai perbandingan daya adalah 0.985.

5. Semakin besar variasi kecepatan arus, turbin akan menghasilkan torsi dan daya yang semakin besar, namun efisiensi turbin akan semakin kecil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kebutuhan Listrik Indonesia Tumbuh 8,4% per tahun , <http://energitoday.com>, Diakses 9 Maret 2015.
- [2] Lynn P. A. (2014). “*Electricity from Wave and Tide*”. Imperial College London, UK.
- [3] Ingram G. (2011). “*Wind Turbine Analysis Using the Blade Element Momentum Method*”. Durham University.
- [4] *National Renewable Energy Laboratory*, <http://www://www.nrel.gov/>, Diakses 20 Mei 2015.
- [5] Marine and Hydrokinetic Technology Glossary, <http://energy.gov/>, Diakses 9 Maret 2014.